

Відгук офіційного опонента

на дисертаційну роботу Стороженко Марини Сергіївни «Фізико-технологічні засади створення композиційних матеріалів системи «сплав на основі Ni(Fe)–MeB₂» для покриттів з високим рівнем зносостійкості»

Актуальність теми дисертаційної роботи

Металокерамічні композиційні матеріали знаходять широке застосування в різних галузях техніки завдяки поєднанню унікальних властивостей, не притаманних окремо утворюючим їх складовим – матриці та наповнювачу. З цих матеріалів виготовляють вироби відповідального призначення, здатні тривалий час працювати в умовах підвищених температур і навантажень, дії абразивних і агресивних середовищ тощо. Додатковим резервом підвищення експлуатаційних властивостей композиційних матеріалів є використання в їх складі тугоплавких сполук, які мають високі фізико-механічні властивості. Це відкриває реальні перспективи для створення нових композиційних порошкових матеріалів для нанесення газотермічних, плазмових, детонаційних, електроіскрових покриттів, здатних задовольнити зростаючі вимоги до експлуатаційної стійкості деталей триботехнічного призначення. Однак на тепер відсутні системні дослідження цього класу композиційних матеріалів. Тому залишаються ще невирішеними питання забезпечення надійного адгезійного зв'язку на границях поділу між металевими зв'язками і тугоплавкими сполуками, рівномірного розподілу зміцнюючої фази в матриці, стабільності механічних і службових характеристик та інші. Означені проблеми вимагають детального вивчення закономірностей формування структури та властивостей композиційних металокерамічних матеріалів на різних стадіях їх виготовлення. Враховуючи сказане, дослідження, проведені в дисертаційній роботі М.С.Стороженко, спрямовані на створення нових композиційних матеріалів системи «сплав на основі Ni(Fe) – MeB₂» з керованою структурою для нанесення покриттів з підвищеними службовими харак-

теристиками, є безумовно актуальні. Цей висновок також підтверджує зв'язок дисертації з наступними науковими програмами Інституту проблем матеріалознавства ім. І. М. Францевича НАН України: III-33-12 (Ц), III-34-17 (Ц), II-8-17, I-1-18, II-6-16(P).

Ступінь обґрунтованості, достовірності та новизна наукових положень, висновків, рекомендацій

Достовірність експериментальних результатів, обґрунтованість наукових висновків і рекомендацій, які випливають із дисертаційної роботи М.С.Стороженко, не викликають ніяких сумнівів. Дослідження виконані із залученням сучасного експериментального обладнання та комп'ютерної техніки. Заслугує на увагу комплексний підхід автора до вирішення поставлених питань. Отримані результати корелюють із результатами інших дослідників. Вони апробовані на авторитетних міжнародних науково-технічних конференціях, опубліковані у виданнях, що індексуються міжнародними наукометричними базами даних, та в провідних вітчизняних фахових спеціалізованих виданнях.

Дисертаційна робота М.С.Стороженко складається з вступу, п'яти розділів, висновків, списку літературних джерел і восьми додатків. У вступі обґрунтовано актуальність роботи, сформульовано мету і завдання досліджень, описано об'єкт, предмет та методи досліджень, показано наукову новизну і практичне значення дисертаційної роботи. Перший розділ містить літературний аналіз сучасного стану наукової діяльності в галузі нанесення на робочі поверхні деталей захисних покриттів з металокерамічних матеріалів. Зокрема обґрунтовано перспективність застосування методу рідкофазного спікання в вакуумі для отримання композиційних порошкових матеріалів системи "тугоплавка сполука – металевий сплав", призначених для газотермічного наплення покриттів. Показано, що за рахунок вибору структурних складових можна цілеспрямовано керувати структурними ефектами, що дозволяє отримувати поверхні з високими триботехнічними властивостями.

Обґрунтовано необхідність детального вивчення механізмів контактної взаємодії в системі "тугоплавка сполука – металевий сплав", оскільки, незважаючи на значну кількість наукових робіт з цього питання, існує необхідність в узагальненні результатів досліджень щодо впливу процесів контактної взаємодії на експлуатаційні властивості композиційних порошкових матеріалів. З посиланням на аналіз літературних джерел обґрунтовано задачі досліджень, які потребують вирішення в дисертаційній роботі.

У другому розділі наведено хімічний склад вихідних матеріалів для виготовлення композиційних порошків для газотермічного напилення та електродів для нанесення електроіскрових покриттів. Описано методика дослідження змочування та контактної взаємодії в системах «металевий сплав – тугоплавка сполука» методом «лежачої» каплі. Наведено оптимальні режими спікання з подальшим подрібненням, що забезпечують підвищення якості покриттів. Охарактеризовано задіяні методики дослідження структури, зокрема кількісного металографічного, мікрорентгеноспектрального, електронно-мікроскопічного та рентгеноструктурного аналізів. Описано методики диференціального термічного та термогравіметричного аналізів. Наведено відомості про методи нанесення покриттів, а саме плазмового напилення, детонаційного напилення, електроіскрового легування. Детально охарактеризовано методики визначення фізико-механічних та експлуатаційних властивостей, зокрема мікродюрOMETричного аналізу, вимірювання твердості за Роквеллом та границі міцності на згин, визначення адгезійної міцності покриттів, трибо-технічних випробувань за схемами "pin-on-disc" та "ball-on-disc", дослідження топографії поверхні та шорсткості та інші.

Третій розділ присвячено дослідженню композиційних порошкових матеріалів $TiV_2-(Fe-13\%Mo)$ для нанесення покриттів різними методами. Показано, що в ході рідкофазного спікання композиційних матеріалів $TiV_2-(Fe-13\%Mo)$ відбувається хімічна взаємодія між диборидом титану та сплавами Fe–Mo, в результаті якої утворюються бориди Mo_2FeV_2 . Для забезпечення оптимальної структури рекомендовано вводити до складу компози-

ційного матеріалу 40–80% металевої зв'язки (Fe–13%Mo). Встановлено, що при газотермічному напиленні порошків ТБФМ не відбувається сегрегація металевого сплаву та тугоплавких боридів. Для нанесення захисних покриттів методами плазмового та детонаційного напилення рекомендовано композиційний порошковий матеріал ТБФМ40, який містить 40% зв'язки (Fe–13%Mo). Підвищену абразивну зносостійкість покриттів ТБФМ40 обґрунтовано тим, що включення in-situ боридів Mo_2FeV_2 екранують дію абразивних частинок при кутах атаки, менших за 90° . Показано, що для нанесення електроіскрових покриттів слід використовувати композиційні матеріали ТБФМ20 або ТБФМ40, що не поступається за зносостійкістю ЕІЛ-покриттю з твердого сплаву ВК-6. Наведено результати виробничих випробувань композиційних матеріалів ТБФМ системи TiB_2 –(Fe–13%Mo) на промислових підприємствах України.

У четвертому розділі подано результати визначення особливостей контактної взаємодії в системах «самофлюсівний сплав NiCrBSiC – тугоплавка сполука (TiC , ZrB_2 , TiB_2 , CrB_2)». Визначено кінетичні параметри змочування та вивчено структуру і фазовий склад продуктів контактної взаємодії. Встановлено, що досліджувані системи характеризуються інтенсивною хімічною взаємодією між компонентами самофлюсівного сплаву та тугоплавкої сполуки, що приводить до утворення нових хімічних сполук. Досліджено механізми формування структурно-фазового складу композиційних матеріалів на основі самофлюсівного евтектичного сплаву NiCrBSiC з добавками 10, 20, 40% TiB_2 в процесі рідкофазного спікання в вакуумі. Показано, що кількістю добавок дибориду титану можна впливати на розмір кристалів бориду хрому, що дає можливість керувати структурно-фазовим складом композиційних матеріалів. Вивчено морфологію, хімічний і фазовий склад отриманих композиційних порошків НХТБ (NiCrBSiC-TiB_2). Зазначено, що технологія отримання композиційних порошкових матеріалів НХТБ, що включає в себе рідкофазне спікання в вакуумі з наступним подрібненням, забезпечує високий адгезійний зв'язок між частинками тугоплавкої сполуки і металевим сплавом та дозволяє уникнути сегрегації компонентів у процесі газотерміч-

ного напилення. Встановлено, що введення до складу самофлюсівного сплаву NiCrBSiC добавок дибориду титану в кількості 10–40% збільшує зносостійкість у 3–4 рази порівняно з покриттям зі сплаву ПГ-СР3. Виявлено, що висока зносостійкість плазмового покриття НХТБ20 у парі з плазмовими покриттями NiCrBSiC, Al₂O₃ та Cr₂O₃ досягається завдяки реалізації окислювального механізму зношування.

У п'ятому розділі наведено результати дослідження кінетики змочування і контактної взаємодії в системах «самофлюсівний сплав FeNiCrBSiC – тугоплавка сполука (TiC, ZrB₂, TiB₂, CrB₂)». Зазначено, що для створення нових композиційних матеріалів перспективними є системи FeNiCrBSiC–TiB₂ та FeNiCrBSiC–CrB₂, які характеризуються малими кутами змочування ($\theta \ll 90^\circ$) та хімічною взаємодією на границі поділу. Визначено структурно-фазовий склад композиційних матеріалів систем FeNiCrBSiC–TiB₂ та FeNiCrBSiC–CrB₂. Для створення нових композиційних матеріалів на основі серійного самофлюсівного сплаву FeNiCrBSiC (ПГ-Ж14) рекомендовано вводити 20% добавок TiB₂ або CrB₂. Наведено результати оптимізації технологічних параметрів виготовлення композиційних порошкових матеріалів ФХТБ20 (FeNiCrBSiC–TiB₂) та ФХБ20 (FeNiCrBSiC–CrB₂) методом рідкофазного спікання в вакуумі. Вивчено морфологію, хімічний і фазовий склад композиційних порошкових матеріалів ФХТБ20 (FeNiCrBSiC–20%TiB₂) та ФХБ20 (FeNiCrBSiC–20%CrB₂), виготовлених методом рідкофазного спікання в вакуумі з подальшим подрібненням. Досліджено структуру газотермічних покриттів з порошоків ФХТБ20 та ФХБ20. Зазначено, що структура покриттів ФХТБ20 та ФХБ20 відрізняється високою щільністю та малою кількістю оксидних плівок.

Висвітлено результати вивчення впливу добавок TiB₂ та CrB₂ на стійкість до окиснення композиційних матеріалів на основі самофлюсівних сплавів NiFeCrBSi (ПГ-СР3) та FeNiCrBSiC (ПГ-Ж14). Встановлено, що стійкість до окиснення композиційних матеріалів системи FeNiCrBSiC–MeB₂ зменшується в ряду: НХТБ20 (5,6%) → ФХБ (7,4%) → ФХТБ20 (10,3%). Визначено механізми зношування покриттів на основі самофлюсівних сплавів в умовах

тертя ковзання без мастила при високих температурах. За результатами триботехнічних випробувань розроблено склад газотермічних покриттів НХТБ20, ФХТБ20 та ФХБ20, що характеризуються зносостійкістю в 2–3 рази вищою ніж покриття з серійних порошків ПГ-СР3 та ПГЖ-14. Досліджено особливості нанесення ЕІЛ-покриттів з розроблених композиційних матеріалів ФХТБВ20 ($\text{FeNiCrBSiC}-20\%\text{TiB}_2$) та ФХБ20 ($\text{FeNiCrBSiC}-20\%\text{CrB}_2$).

Додатки містять акти про дослідно-виробничу перевірку розроблених плазмових та електроіскрових покриттів у промислових умовах (Додатки 1,2,3,5,6), сертифікат про випробування покриттів на зносостійкість, проведені згідно міжнародного стандарту ASTM G99.9217 (Додаток 4), технічні умови ТУ У 25.9–05416930–049–014:2019 «Електроди $\text{FeNiCrBSiC}-\text{TiB}_2$ для електроіскрового зміцнення деталей триботехнічного призначення» (Додаток 7) та список опублікованих праць за темою дисертації (Додаток 8).

Ступінь новизни виконаних у дисертаційній роботі М.С.Стороженко досліджень визначається тим, що більшість результатів отримана автором уперше. Серед них наступні:

- закономірності змочування та механізми контактної взаємодії в системах «диборид TiB_2 – сплави Fe-Mo», «самофлюсівний сплав FeNiCrBSiC – тугоплавка сполука TiC , ZrB_2 , TiB_2 , CrB_2 »;
- закономірності структуроутворення композиційних матеріалів на основі самофлюсівних евтектичних сплавів NiCrBSiC (ПГ-СР3) та FeNiCrBSiC (ПГ-Ж14) з добавками TiB_2 та CrB_2 в процесі рідкофазного спікання в вакуумі;
- результати визначення оптимального вмісту добавок тугоплавких боридів до самофлюсівних сплавів на основі нікелю NiCrBSiC та заліза FeNiCrBSiC , що забезпечує високу зносостійкість покриттів;
- відомості про морфологію, структурно-фазовий склад порошків НХТБ20 ($\text{NiCrBSiC}-20\%\text{TiB}_2$), ФХТБ20 ($\text{FeNiCrBSiC}-20\%\text{TiB}_2$) та ФХБ20 ($\text{FeNiCrBSiC}-20\%\text{CrB}_2$), отриманих методом рідкофазного спікання в вакуумі з подальшим подрібненням;

- результати вивчення структури та механізмів зношування газотермічних покриттів з композиційних порошкових матеріалів НХТБ20, ФХТБ20 та ФХБ20 в умовах тертя ковзання без мастила при підвищених температурах;
- структурний та фазовий склад композиційних компактних та порошкових матеріалів ТБФМ системи $TiB_2-(Fe-Mo)$, отриманих методом рідкофазного спікання в вакуумі та покриттів ТБФМ, нанесених методами електроіскрового легування сталі, плазмового і детонаційного напилення;
- механізми зношування електроіскрових, плазмових та детонаційних покриттів ТБФМ в умовах абразивного зносу;
- рекомендації щодо технологій отримання захисних покриттів на деталях триботехнічного призначення із застосуванням розроблених композиційних порошкових матеріалів ТБФМ40, НХТБ20, ФХТБ20 та ФХБ20.

Практичне значення отриманих результатів

Окрім відзначених вище наукових результатів, наведених у дисертаційній роботі М.С.Стороженко, необхідно вказати ще ряд її достоїнств, що мають практичне значення. Рекомендації щодо технологічних режимів виготовлення композиційних порошкових матеріалів НХТБ20, ФХТБ20 та ФХБ20 систем $FeNiCrBSiC-20\%MeB_2$ для нанесення газотермічних покриттів перевірені в дослідно-виробничих умовах ДП «Конструкторське бюро «Південне» ім. М. К. Янгеля». Встановлено, що нанесення плазмових покриттів з композиційного порошку ФХТБ20 ($FeNiCrBSiC-20\%TiB_2$) на робочі поверхні торцевих ущільнень забезпечує збільшення зносостійкості вузла ущільнення паливного насосу СЦЛ-20-24 в 1,8–2,2 рази порівняно з покриттями з серійних самофлюсівних сплавів марок ПГ-СР3 та ПГ-Ж14 (акт від 27.12.2018).

Результати дослідно-виробничої перевірки на КП «Київський метрополітен» показали, що нанесення електроіскрових покриттів з розробленого композиційного матеріалу ФХТБ20 на робочі поверхні валу-шестерні Л-20877А ескалятора типу ЛТ-2 забезпечує подовження ресурсу його роботи в 2–2,5 рази (150-160 тис. км) (акт від 12.04.2019). Виробнича перевірка на КП «Київський метрополітен» також підтвердила, що застосування компози-

ційного матеріалу ТБФМ40 в якості електроду для ЕІЛ-відновлення піввісей КМ35-И/ЭТ.00.024 сходин ескалатора типу «ЭТ-2» з метою їх відновлення забезпечує подовження ресурсу вказаних деталей у 2,0–2,5 рази (150–170 тис. км) (акт від 12.04.2019). Розроблено технічні умови ТУ У 25.9–05416930–049–014:2019 «Електроди FeNiCrBSiC–TiB₂ для електроіскрового зміцнення деталей триботехнічного призначення».

Випробування на ПАТ «Сумське НВО» показали збільшення ресурсу роботи змінних ножів РЗ-01032.00.00-10, зміцнених плазмовими покриттями ТБФМ40, в 1,5 рази порівняно з серійними деталями (акт від 22.04.2019). За результатами дослідно-виробничої перевірки на ТОВ ПМТЗ «Сервіс» композиційні матеріали ТБФМ40 рекомендовано для нанесення захисних покриттів методом плазмового напилення на робочі поверхні деталей сільськогосподарської техніки з метою підвищення їх зносостійкості та ресурсу (до 4–5 разів) (акт від 22.04.2019).

Таким чином, комплекс виконаних автором досліджень не обмежується лабораторними випробуваннями, а є вельми корисний матеріал для застосування на практиці. Завдяки цьому дисертаційна робота М.С.Стороженко є завершеною науковою працею.

Повнота викладення результатів дисертації в опублікованих працях

Основні результати роботи повністю викладено в 41 науковій праці, з яких 23 статті опубліковано в наукових фахових виданнях (12 статей – у журналах, що індексуються міжнародними наукометричними базами даних Scopus і Web of Science, та 11 статей – у виданнях України, що входять до Переліку МОН України); 16 публікацій – у матеріалах доповідей на міжнародних конференціях; отримано 2 патенти на корисну модель на композиційні матеріали. Вони обговорювалися на 15 науково-технічних міжнародних конференціях. Об'єм представленої дисертації, одержані нові результати, документи, що підтверджують практичне значення, рівень наукових публікацій свідчать про завершеність роботи в цілому і її важливість для науки й вітчизняної промисловості. Автореферат достатньо повно відображає зміст дисертації.

Зауваження щодо змісту та оформлення дисертації і автореферату

1. Описуючи рівноважну діаграму стану системи Fe–Mo, автор припускає неточності при аналізі зміни фазового складу сплавів зі збільшенням вмісту молібдену. Так, по-перше, в обраних сплавах за кімнатної температури присутні лише фази α -Fe та λ . По-друге, μ -фаза існує в усіх сплавах в інтервалі від 950°C до температури не вище 1200°C, а не 1370°C, як зазначає автор (стор. 101). По-третє, в сплаві з вмістом 30 ваг.% Mo спочатку утворюється R-фаза, яка потім розпадається за евтектоїдною реакцією на α -Fe та μ .

2. Аналізуючи теплові ефекти на кривих нагріву композиційних матеріалів TiB₂–(Fe–Mo), автор описує «розмитий» екзотермічний ефект і пов'язує його появу з кристалізацією боридів Mo₂FeB₂ (стор. 123). Однак автор не враховує, що в зазначеному інтервалі температур утворення цих кристалів повинно супроводжуватися їх одночасним розчиненням. Саме це обумовлює «значну протяжність» піку, екзотермічний характер якого лише свідчить про те, що швидкість кристалізації фази перевищує швидкість її розчинення. Також автор вважає, що екзотермічний ефект на кривих нагріву матеріалу НХТБ40 може бути пов'язаний з розчиненням дибориду титану, однак цій події може відповідати лише ендотермічний ефект (стор. 248). Слід також зазначити, що методом ДТА не можна визначити стійкість до окиснення зразків (стор. 78). Для цього застосовують термогравіметричний метод, який разом з методом ДТА входить до складу метода дериватографії.

3. Збільшення інтенсивності хімічної взаємодії на границях поділу композиційних матеріалів TiB₂–(Fe–Mo) зі зменшенням розміру частинок наповнювача автор пояснює збільшенням поверхні фаз (стор. 127, 136), не враховуючи вплив радіусу кривизни поверхні частинок TiB₂, який описує формула У.Томсона. За цією залежністю, чим менші за розміром частинки, тим більша їх розчинність.

4. Не можна також погодитися з деякими поясненнями автора. Наприклад, з тим, що добавки Mo можуть привести до збільшення вмісту карбідних фаз у матеріалі TiC–(Ni–Mo) в процесі спікання (стор. 100). Ці добавки мо-

жуть лише викликати перерозподіл вуглецю в матеріалі на користь того чи іншого карбїду. Загальний вміст карбїдних фаз при цьому не може змінитися відповідно до закону збереження маси. А відтак, автору слід було б указати, вміст яких карбїдів збільшується при спіканні. Або процес утворення карбїдів хрому в системі NiCrBSiC–TiC автор вважає більш термодинамічно вигідним (стор. 207), ніж боридів хрому, хоча, на наш погляд, визначальну роль тут відіграє більший вміст вуглецю в системі порівняно з вмістом бору. Крім того, формування структури матеріалу NiCrBSiC–ZrB₂ автор пов'язує з контактним плавленням на міжфазних границях подїлу (стор. 216), але не описує, поява яких саме легкоплавких евтектик викликає це явище. І нарешті, утворення сполук хрому з дендритною морфологією в сплавi NiCrBSiC автор пояснює тим, що процеси формування фаз «не встигають завершитися» зі збільшенням швидкості нагрівання (?) / охолодження (стор. 239). Однак, загально відомим є факт перетворення поліедричної форми росту кристалів на дендритну в швидкоохолоджених сплавах.

5. В структурі композиційних матеріалів з наповнювачем TiB₂ і зв'язкою Fe–13%Mo автор описує структурну складову перитектичного типу, яка, за думкою автора, складається з серцевинної фази Fe₂B, оточеної обідком бориду TiB₂ (стор. 134, 136). Проте можна зауважити щодо ідентифікації серцевинної фази, оскільки вона має чітко виражену гексагональну морфологію, тоді як структура геміборида заліза є тетрагональною. Враховуючи структуру та хімічний склад серцевинної фази, можна скоріше припустити, що це легований Мо та В інтерметалід TiFe₂. Також, на наш погляд, неправильно ідентифіковані наступні структурні складові: евтектика Ni–Ni₃Si (табл. 4.1.3.6) та фази TiB₂ (спектр №1, табл. 3.1.3.1), Fe₃Mo₂ замість Fe₂Mo (табл. 3.1.3.3), CrBC₂ замість (Cr,Ni)₃(C,B)₂ (табл. 4.1.1), Cr₃C₂ замість (Cr,Fe)₃C (табл. 5.1.1, 5.1.3.1), (Cr,Me)₂₃(C,B)₆ замість (Ti,Cr)(C,B), Ni₃Si₂ замість Ni₃Si, «матриця на основі Ni» замість матриця на основі оксиду Ni (табл. 4.1.3.7, 4.2.4, 4.4.1, 4.5.1–4.5.3, 4.1.3.5, 5.8.1). Не ідентифіковані евтектоїд в структурі сплаву Fe–30%Mo (рис. 3.1.1.6) та евтектика Fe–(Fe,Cr)₃C в сплавi FeNiCrBSiC (стор. 335).

6. Аналіз результатів дисертації іноді ускладнює дещо описовий характер складу деяких фаз. Наприклад, доречнішим було б указати хімічну формулу складного карбобориду титану-хрому-молібдену – $(Cr,Me)_{23}(C,V)_6$ (стор. 316), складного бориду хрому-молібдену-заліза – $(Cr,Me)_3(V,C)$ (стор. 343), складного карбобориду – $(Ti,Me)(C,V)$ (стор. 343), складного карбобориду – $(Fe,Me)_3(V,C)$ чи складного бориду – $(Cr,Me)_2V$ (табл. 5.1.3.6) тощо.

7. У цілому висвітлення результатів роботи в дисертації справляє гарне враження як своєю послідовністю, так і чіткістю викладення. Проте слід зауважити щодо використання автором деяких термінів. Наприклад, тавтологічними є вислови «складові компоненти» (стор. 291), «зерна фаз» (стор. 225 та інші), «структурна фаза» (стор. 237) тощо. Поверхневий шар утворює не «когезійний», а адгезійний зв'язок з основою (стор. 291). Процес утворення конгломератів з інтерметалідів правильніше було б назвати не «впорядкуванням» (стор. 102, 103), а коагуляцією, оскільки під упорядкуванням розуміють інший фазовий перехід. Невиправдано використані терміни «дискретна» (стор. 192, 198) або «композиційна» структура (стор. 203, 317) замість терміну «гетерофазна». Про кристалізацію евтектик не можна говорити як про кристалізацію фаз, оскільки їх вважають структурними складовими, що містять не менше двох фаз (стор. 119, 128, 237, 335). Результати визначення фазового складу сплаву NiCrBSiC методом МРСА не збігаються з результатами РФА (табл. 4.2.1, рис. 4.2.3).

8. Серед зауважень щодо оформлення роботи слід указати на наступні. Сумарний вміст елементів іноді перебільшує 100%, наприклад у спектрах №1 (табл. 5.8.1) та №5 (табл. 3.1.3.1). До того ж в спектрах №5,6 сумарний вміст указаних компонентів повинен бути менше 100%, оскільки вони належать фазам, ідентифікованим як бориди (табл. 3.1.3.1). Неправильно вказані номери спектрів, а саме №1 замість №12 та №12 замість 11 (стор. 103). Склад фази Mo_2FeV_2 правильніше було записати як $(Mo,Ti)_2FeV_2$, TiV_2 як $(Ti,Me)V_2$ (стор. 133, 135), $Ni(Fe)_3V$ як $(NiFe)_3(V,C)$ (стор. 321), Ni_3V,Cr,Fe,C як $(Ni,Me)_3(V,C)$ (табл. 4.1.3.1), $FeCr(Mo)$ як $Cr(Me)$ (стор. 341) тощо. Як фаза вказаний «твердий сплав» (табл.3.1.3.7), а фаза $(Ni,Fe)_3(V,C)$ не є «карбобо-

ридом хрому» (стор. 237). В роботі зустрічаються позасистемні одиниці вимірювання величин, наприклад мм.рт.ст (стор. 77), г/см³ (стор. 83 та інші), атм (стор. 82) тощо. Потужність не може вимірюватися в Гц та В (табл. 2.5.2.2), приріст маси в см³ (стор. 405, 408), а кількість фаз в ГПа (стор. 261, 263). Не вказані одиниці вимірювання Δh (стор. 140,141) і питомої ваги (стор. 155). Іноді в роботі не описана методика та не вказана точність визначення характеристик, наприклад пористості або складу сплавів. Також у роботі присутні неточності перекладу, наприклад «частки» (стор. 44 та інші) замість частинки, «диференційний» (стор. 77 та інші) замість диференціальний тощо. Таблиці на стор. 133 і стор. 135, стор. 309 і 311, а також рисунки на стор. 386 і стор. 388 мають однакову нумерацію. Рисунки 5.7.3 та 5.7.4 дублюють один інший.

Висновок про відповідність дисертації встановленим вимогам

Зроблені зауваження не мають принципового характеру, який би стосувався суті дисертаційної роботи. В цілому можна заключити, що дисертантом отримані нові наукові результати, що дозволило вирішити важливу науково-технічну проблему, яка полягає у розробці концепції створення нових композиційних матеріалів системи «сплав на основі Ni(Fe) – MeV₂» з керованою структурою для нанесення покриттів з підвищеним рівнем зносостійкості шляхом дослідження закономірностей впливу їх структурно-фазового складу на механізми зношування.

На підставі вищесказаного можна зробити висновок про те, що дисертаційна робота Стороженко Марини Сергіївни відповідає всім вимогам п.11 «Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України № 567 від 24.07.2013 р. зі змінами, затвердженими постановами Кабінету Міністрів України № 656 від 19.08.2015 р. та №1159 від 30.12.2015 р. до актуальності, методичного рівня, змісту, наукової новизни, практичного значення, оформлення тощо, є закінченою кваліфікаційною нау-

ковою роботою, а її автор Стороженко Марина Сергіївна заслуговує на присудження наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.02.01 – Матеріалознавство. Технічні науки (13 Механічна інженерія).

Офіційний опонент –

професор кафедри експериментальної фізики

та фізики металів Дніпровського

національного університету ім. О.Гончара,

доктор технічних наук



О.В.Сухова

Підпис О.В.Сухової підтверджую –

Вчений секретар Дніпровського

національного університету ім. О.Гончара,

кандидат фізико-математичних наук



Т.В.Ходанен